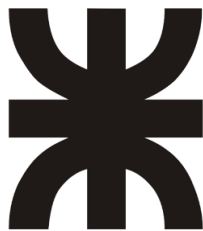


Inteligencia Artificial
Universidad Tecnológica Nacional Regional Santa Fe

TRABAJO PRÁCTICO 1 - BÚSQUEDA



Lomazzi, Fernando Sebastián
Rivera, Lucio

15 de abril de 2024

1. Ambiente

1.1. Estructura

Para representar al ambiente se hará uso de un grafo no dirigido en donde, a través de un nombre representativo, se definen los nodos y las interconexiones entre las habitaciones del dominio.

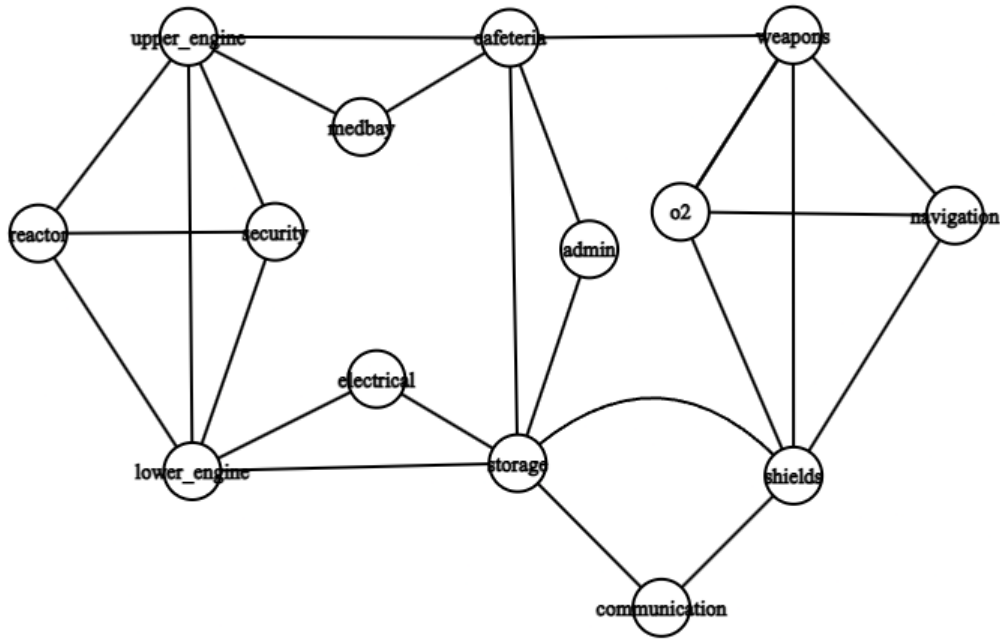


Figura 1: En la imagen se representa el Ambiente con el cual interactuará el Agente. Consiste de catorce nodos que representan las habitaciones de la nave y sus interconexiones.

1.2. Estado

- Lista de Adyacencia en donde se representan las relaciones de adyacencia de las Habitaciones (nodos) de la nave.
- Lista de Tripulantes en donde cada tripulante es una estructura que contiene los siguientes elementos:
 - Habitación actual.
 - Tiempo restante para próximo movimiento, en caso de valer cero, el tripulante debe moverse.
- Habitación actual en la que se encuentra el Agente.
- Energía restante del Agente.

- Lista de Habitaciones restantes a sabotear.
- Tiempo restante para usar el Sensor, en caso de valer cero, el agente debe usar el sensor.

2. Agente

2.1. Estado

- Lista de Adyacencia en donde se representan las relaciones de adyacencia de las habitaciones (nodos) de la nave.
- Energía Actual.
- Habitación Actual.
- Lista de Habitaciones a Sabotear.
- Lista de Habitaciones en las que se encuentran Tripulantes.

2.2. Percepciones

- Habitación actual del Agente.
- Energía restante del Agente.
- Lista de Habitaciones restantes a sabotear.
- Lista de Habitaciones en las que se encuentran los Tripulantes. En caso de no disponer el sensor, serán solo de Habitaciones adyacentes a la actual.

3. Definición del problema

3.1. Espacio \mathcal{U} de estados del problema

Un estado $E \in \mathcal{U}$ del problema es representado por una 4-tupla $(\rho, \xi, \Gamma, \Theta)$ donde cada uno de sus elementos están definidos de la siguiente forma:

- $\rho \in \text{Habitaciones}$. Representa la habitación donde se encuentra el agente.
- $\xi \in \mathbb{N}$. Representa la energía restante del agente.
- $\Gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n) \mid \gamma_i \in \text{Habitaciones}$. Representa la habitación en la que se encuentra el tripulante i .
- $\Theta = \{\eta \mid \eta \in \text{Habitaciones}\}$. Representa las habitaciones que el agente aún debe sabotear.

3.2. Operadores

3.2.1. Moverse de la habitación η_A a la habitación η_B .

- Precondición: η_A es adyacente con η_B y $\rho = \eta_A$.
- Postcondición: $(\eta_B, \xi - 1, \Gamma, \Theta)$.

3.2.2. Eliminar al tripulante i .

- Precondición: $\rho = \gamma_i$ y $\gamma_i \neq null$.
- Postcondición: $(\rho, \xi, (\dots, \gamma_{i-1}, null, \gamma_{i+1}, \dots), \Theta)$.

3.2.3. Sabotear habitación η .

- Precondición: $\rho = \eta$ y $\eta \in \Theta$.
- Postcondición: $(\rho, \xi, \Gamma, \Theta - \{\eta\})$.

3.3. Prueba de meta

Sea $\lambda : \mathcal{U} \rightarrow \{0, 1\}$ la prueba de meta asociada al problema y $E \in \mathcal{U}$ un estado del espacio de estados, se establece que:

$$\lambda(E) = 1 \Leftrightarrow \xi > 0 \wedge \gamma_i = null \forall \gamma_i \in \Gamma \wedge \Theta = \emptyset$$

Esta última relación permite destacar dos características relevantes para el problema: en primer lugar, implica que para todos aquellos estados $E \in \mathcal{U}$ que no satisfagan la condición del lado derecho, $\lambda(E) = 0$. En segundo lugar, implica la no existencia de secuencias de operaciones que permitan alcanzar el objetivo para todos aquellos estados donde $\xi = 0$. Por este último motivo, estos estados no deben ser expandidos.

3.4. Función costo y heurística propuesta

A fines de preservar la naturaleza matemática y abstraer los detalles de la implementación del problema, se propone introducir a la función $\Lambda(E)$, de forma tal que $\Lambda(E) = P$ donde P es el nodo padre de E para una estrategia de búsqueda genérica.

Con el auxilio de este elemento notacional, se propone la siguiente función costo:

$$g(E) = \begin{cases} 0 & \text{si } E \text{ es el estado inicial.} \\ g(\Lambda(E)) + 1 & \text{caso contrario.} \end{cases}$$

Destáquese que esta función penalizará a aquellas acciones que consuman energía, favoreciendo así la obtención de una secuencia de acciones eficiente. Sin embargo, no influye directamente en la velocidad de convergencia de aquellas estrategias de búsqueda que hacen uso exclusivo de esta. Bajo esta premisa, se propone la introducción de la función basada en heurísticas $h(E)$ que dote a las estrategias de búsqueda que hagan uso de esta de una mayor velocidad de convergencia.

$$h(E) = |\Theta| + \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1 & \gamma_i = null. \\ 0 & \text{caso contrario.} \end{cases}$$

Una hipótesis inductiva trivial permite demostrar que esta función es monótonamente decreciente y que en todo estado objetivo su valor es cero. En resumen:

$$\begin{aligned} h(E) &\leq h(\Lambda(E)) \quad \forall E \in \Omega \\ h(E) &= 0 \Leftrightarrow \lambda(E) = 1 \end{aligned}$$

Nótese que las estrategias de búsqueda informada pretenden aprovechar las virtudes tanto de la función costo como de la función basada en heurísticas, operando con estas funciones en conjunto. En el presente informe, las estrategias de búsqueda informada utilizan el siguiente criterio:

$$f(E) = g(E) + h(E)$$

4. Implementación

La implementación propuesta consiste de un programa ejecutable, escrito en C++ siguiendo los lineamientos del paradigma orientado a objetos que el lenguaje soporta. La definición de cada una de las clases que conforma el programa se encuentra presente en el directorio *Implementación* del archivo adjunto.

4.1. Experimentos

A fines contrastar el rendimiento de las distintas estrategias de búsqueda propuestas, estas últimas fueron sometidas a distintas configuraciones iniciales en orden ascendente de dificultad. Cada configuración fue ejecutada tres veces.

- Configuración A: 71 puntos de energía inicial y 4 tripulantes.
- Configuración B: 105 puntos de energía inicial y 8 tripulantes.
- Configuración C: 72 puntos de energía inicial y 12 tripulantes.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

| 4 Tripulantes | Busqueda en anchura | | Costo Uniforme | | A-Estrella | |
|----------------|---------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------|-----------------|
| Semilla | Iteraciones | Tiempo Promedio | Iteraciones | Tiempo Promedio | Iteraciones | Tiempo Promedio |
| 345 | 13 | 36.5 | 13 | 21.3 | 16 | 10 |
| 777 | 12 | 24.5 | 12 | 10.1 | 12 | 5.1 |
| 169 | 16 | 56.8 | 16 | 31.8 | 17 | 18.4 |
| Promedio total | 13.7 | 39.2 | 13.7 | 21.1 | 15.0 | 11.2 |
| | | | | | | |
| 8 Tripulantes | Busqueda en anchura | | Costo Uniforme | | A-Estrella | |
| Semilla | Iteraciones | Tiempo Promedio | Iteraciones | Tiempo Promedio | Iteraciones | Tiempo Promedio |
| 345 | 19 | 227.5 | 19 | 92.5 | 18 | 63.6 |
| 777 | 21 | 352.0 | 22 | 148.2 | 20 | 69.5 |
| 169 | 23 | 852.3 | 20 | 645.1 | 20 | 252.3 |
| Promedio total | 21.0 | 477.3 | 20.3 | 295.3 | 19.3 | 128.4 |
| | | | | | | |
| 12 Tripulantes | Busqueda en anchura | | Costo Uniforme | | A-Estrella | |
| Semilla | Iteraciones | Tiempo Promedio | Iteraciones | Tiempo Promedio | Iteraciones | Tiempo Promedio |
| 345 | 23 | 1401.0 | 33 | 426.7 | 23 | 332.3 |
| 777 | 27 | 3607.0 | 30 | 930.2 | 26 | 729.2 |
| 169 | 33 | 6407.6 | 28 | 3922.5 | 28 | 1616.5 |
| Promedio total | 27.7 | 3805.2 | 30.3 | 1759.8 | 25.7 | 892.7 |

El diseño de experimentos propuesto desvela información relevante sobre la naturaleza del problema y el rendimiento de cada una de las estrategias de búsqueda utilizadas.

En primer lugar, se concluye que la cantidad de tripulantes iniciales es el factor inicial que más impacto tiene en la dificultad del problema subyacente. Este hecho se sustenta en la alta eficiencia que las estrategias de búsqueda obtuvieron en su totalidad, incluso en la búsqueda en anchura, que no utiliza ninguna función costo. Para ilustrar este hecho, para la tercer ejecución de la configuración C de la búsqueda en anchura, el agente necesitó de únicamente 23 percepciones, o en otras palabras, de 8 puntos de energía, para alcanzar un estado objetivo.

La diferencia significativa entre las estrategias de búsqueda propuestas está en el tiempo de ejecución de cada una de estas. Para analizar esta característica se debe observar el promedio entre todos los tiempos de ejecución dado que esta métrica atenúa el sesgo del efecto aleatorio. Nótese que cada experimento está influenciado por cierto grado de aleatoriedad, se observa una diferencia significativa en los tiempos de ejecución de las estrategias de búsqueda.